アンダーソンの直交定理

京大・基研　山　田　耕　作

1967年 P. W. Anderson は金属中での局所的な摂動に対する次の定理を証明した。[1)] 短距離の摂動ポテンシャルVがN個の伝導電子系に導入された時，導入前後の２つのN電子系の基底状態間の重なり積分$<f\,|\,i>$は

$$<f\,|\,i> \propto N^{-\frac{1}{2}(\frac{\delta}{\pi})^2} \tag{1}$$

と表わされるというものである。ただし，ここでは簡単のためにスピン縮重度を無視し，Vの中心に関してS対称（$l=0$）の球面波のみを考え，VによるS–波の位相のづれ（phase shift）のフェルミ面での値をδとした。局所的な摂動に関する重要な定理としてよく知られたフリーデルの総和則によれば，δ/π はVによって局在する局所的な電子数を表わす。δが有限である限りNは巨視的な数であるから(1)式の重なり積分は０になってしまう。つまり，フェルミ面での phase shift が一致しない２つの基底状態は互いに直交することを意味する。もし，束縛状態を作る時には$\delta=\pi$となり，(1)の結果は束縛状態と平面波の重なり$1/\sqrt{N}$に一致する。

この直交性は局所的な摂動によって，金属のフェルミ面近くに無限個の電子－正孔対が励起され，それ以前の状態との重なりが(1)式のように小さくなってしまうからであり，金属のフェルミ面の特殊性の反映である。一般にDをフェルミエネルギー，ω_cを適当なカットオフのエネルギーとして

$$|<f\,|\,i>| \propto \left(\frac{\omega_c}{D}\right)^{-K} \qquad K>0 \tag{2}$$

と表わされ，$\omega_c\to 0$で直交するので，Orthogonality Catastrophe とか Infrared Catastrophe とも呼ばれる。指数因子Kは最も簡単な場合は(1)式に示されているが一般には２つの基底状態の phase shifts の差やS-行列のフェルミ面での値で表わされる夫々の系でのスクリーニングの機構に関係した個有の定数である。[1)~4)] この定数は種々の物理現象において$\omega_c\to 0$の振舞いを規定する重要な量である。

さらに直交定理は２つの基底状態間にオペレーターが入った行列要素に関しても成立するものであるから，金属のフェルミ面の関係した多様な現象に現われるはずである。金属の軟X線の放射，吸収端の異常[2)] や光電子放出や，近藤系の基底状態の電子構造，重い荷電粒子の金

属中[5]での運動などの問題に応用されている。Kの最も一般的な表式に関しては文献 4) を参照。

参考文献

1) P. W. Anderson, Phys. Rev. Lett. **18** (1967), 1049. Phys. Rev. **164** (1967) 352.

2) P. Noziéres and C. T. De Dominicis, Phys. Rev. **178** (1969) 1027.

3) 近藤淳,「磁性理論の進歩」守谷・金森編(裳華房), 213.

4) K. Yamada and K. Yosida, Prog. Theor. Phys. **18** (1982) 1504.

5) 「物性研究」 vol. 43, №1, 38 (1984年10月号)

texture(織目構造)

京大・理　大 見 哲 巨

フェルミ粒子である ^{3}He の超流動状態は通常の超伝導の場合と同じようにクーパー対の凝縮によって起る。しかし, ^{3}He 粒子は互いに近づいた時, 強い反発力が働くため, 内部軌道角運動が 0 の S 状態に凝縮することができずに量子数 1 の P 状態に凝縮する。したがって, 対のスピンは三重項状態になる。このため, 凝縮退の状態を表わす巨視的波動関数は $3 \times 3 = 9$ の内部自由度を持っている。この内部自由度の空間変化の様子を織目構造(texture)と呼んでいる。

実際のバルクの平衡状態では 9 つの内部自由度すべてが縮退している状態になっているのではない。凝縮エネルギーを最小にするように 9 つの自由度の内いくつかの縮退が解け, 温度と圧力に依存して A 相, B 相の二つの相が存在する。A はエネルギー・ギャップがフェルミ面の南極と北極で零という非等方的な状態で, 二つの零点を結んだ方向を表わす $|\hat{l}| = 1$ の $\hat{l}$-ベクトルと, そしてスピン状態を表わす $|\hat{\alpha}| = 1$ の $\hat{\alpha}$-ベクトル, 二つのベクトルの回転に対する内部自由度の縮退が解けずに残っている。したがって, A 相では $\hat{l}$ と $\hat{\alpha}$ の texture が考えられる。ここまでくると内部自由度の空間変化を texture と呼ぶ理由がお解りいただけたと思う。ベクトル $\hat{l}$ または $\hat{\alpha}$ の変化の様子を紙の上に書いてみると織目模様の様に見えるであろう。図に例として回転 ^{3}He-A で強い磁場がかかった時の渦の芯の構造を表わす $\hat{l}$ texture をあげておく。[1]